ChinaXiv合作期刊

第37卷 第6期
2020年11月

干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH

Vol. 37 No. 6
Nov. 2020

棉花陆海重组自交系群体花铃期抗旱性鉴定及评价

姜梦辉， 孙丰磊， 杨 阳， 王艳艳， 曲延英， 陈全家
（新疆农业大学农学院，棉花教育部工程研究中心，新疆 乌鲁木齐 830052）

摘 要： 以陆地棉材料（中07）和海岛棉材料（新海20）构建的$F_{2:6}$陆海重组自交系群体为试验材料，分别于2018年、2019年的7月份在石河子144团采用田间干旱胁迫的方法，在花铃期对棉花陆海重组自交系群体进行干旱胁迫处理，通过测定农艺性状和产量相关性状，采用方差分析、主成分分析、聚类分析等相结合的方式，对陆海重组自交系群体进行抗旱性鉴定及评价。由主成分分析可知，陆海重组自交系群体在干旱胁迫状态下铃数、皮棉、有效果枝数和衣分变化较为明显。根据抗旱性度量值（*D*值）进行聚类，将陆海重组自交系群体材料划分为4个类群：第Ⅰ类群为抗旱型，是HL-44、HL-48、HL-13等16个株系；第Ⅱ类群为中抗旱型，是HL-21、HL-8、HL-19等19个株系；第Ⅲ类群为干旱敏感型，是HL-11、HL-12、HL-3等29个株系；第Ⅳ类群为干旱极敏感型，是HL-10、HL-18、HL-31等8个株系。并鉴定出亲本中07属于抗旱型材料，新海20属于抗旱敏感材料。同时发现群体材料中有比亲本中07抗旱性更强的株系有5个，在抗旱型类群；比亲本新海20抗旱性更敏感的株系有8份，在极敏感型类群。说明该陆海重组自交系群体在抗旱性方面不仅有亲本陆地棉和海岛棉的遗传特性，还有超越亲本的遗传特性。为今后研究海陆重组自交系群体的抗旱性提供了基础。

关键词： 棉花；陆海重组自交系；花铃期；干旱胁迫；抗旱性评价

棉花是重要的油料和经济作物，同时也是世界纺织纤维的重要来源[1]。近年来，棉花在西北地区的种植有了长足的发展，新疆已成为全国最大的棉花种植区域[2]。棉花主产区经常受到非生物胁迫特别是干旱胁迫的影响，使棉花的生长发育和繁殖受到了一定的抑制，导致棉株减产甚至死亡[3]。由于棉花的抗旱性由多基因控制，抗旱机制十分复杂[4-5]，使得棉花抗旱育种有很大困难，且棉花主栽区缺乏适合种植的抗旱品种。因此，研究棉花抗旱机理，挖掘抗逆材料显得尤为重要。

在棉花生长周期中，花铃期是生殖发育和水肥需求最关键的时期，对水分条件的要求极其敏感[6]。此时期缺水对棉花的产量与品质将产生重大影响。因此，研究花铃期干旱条件下各农艺性状的变化情况是十分重要的。对陆地棉材料的抗旱性研究证明，在花铃期进行短暂的干旱胁迫处理，会使棉花单株有效铃数减少、生育进程加快、铃期缩短，同时也会使中下部蕾铃脱落率增加、吐絮提前、子棉、皮棉产量均降低，而衣分增加，所以，该时期水分减少会直接影响后期的产量和品质[7-10]。对海岛棉种质资源进行综合的抗旱性鉴定，筛选出强抗旱型材料35份，并筛选出单株产量、单铃重和株高作为海岛棉资源材料抗旱性评价指标[11]。棉花陆海重组自交系群体材料是既兼有陆地棉优良的产量性状和广泛的适应性，又具有海岛棉优良的纤维品质的群体。目前对陆海群体的研究主要在杂种优势方面[12-17]，对陆海群体进行抗旱评价性评价研究的很少。

本研究以抗旱型的陆地棉材料中07为母本，干旱敏感型的海岛棉材料新海20为父本构建的$F_{2:6}$陆海重组自交系群体为试验材料，中07的主要特点是植株较紧凑，茎秆多绒毛，不易倒伏，叶片中等大小，吐絮畅，易于采收；新海20属于早熟零式分枝品种，株型呈筒形，棉铃呈长卵圆形。通过采用田间

收稿日期： 2020-01-03； **修订日期：** 2020-03-24
项目资助： 天山雪松计划（2018XS05）；转基因生物新品种培育重大专项项目（2016ZX08005-004-009）；新疆农业大学作物学重点学科发展基金项目（XNCKY2018008）
作者简介： 姜梦辉（1993-），女，硕士研究生，主要从事棉花遗传育种及抗旱研究. E-mail: 1079297911@qq.com
通讯作者： 陈全家. E-mail: chqjia@126.com

chinaXiv:202103.00070v1

ChinaXiv合作期刊

干旱胁迫的试验方案，设置正常浇水和干旱两个水平处理对棉花的农艺性状和产量进行研究，采用方差分析、相关分析、聚类分析和综合抗旱评价体系相结合的方式[18-19]，对陆海重组自交系群体进行抗旱性鉴定和抗旱材料的筛选。为棉花抗旱鉴定和抗旱育种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

参试棉花材料是由新疆农业大学遗传育种实验室提供的抗旱型的陆地棉材料中07为母本、干旱敏感型的海岛棉材料新海20为父本构建的$F_{2:6}$陆海重组自交系群体，共72个株系。

1.2 方法

1.2.1 试验设置方案 试验分别于2018年和2019年在石河子144团新疆农业大学棉花育种试验田进行，播种前在试验区划分干旱胁迫(Drought)与正常灌水(CK)两个试验区域，参试棉花株系采用3 m两行的模式种植，株距为10 cm，每膜种植3个品种，以保护行隔离，两种处理均重复两次。采用膜下滴灌方式灌水，毛管配置方式为“一管两行”，配置模式[(20 ~ 25)+(50 ~ 60)] cm宽窄行，毛管置于20 ~ 25 cm窄行之间，滴水范围为毛管周围距离相近的3行棉花。在花铃期(7月3日左右)进行控水胁迫，对照组正常浇水，干旱胁迫组停水两次(一次周期为10 d，每小时滴水量为300 ~ 450 $m^3\cdot hm^{-2}$，每次滴水时长12 h)。之后一切正常浇水(7月23日左右)。

1.2.2 测定项目 农艺性状指标选取棉花吐絮收获期前(9月10日前后)，在每个株系中找均一稳定的连续5株测其株高、果枝数、有效果枝数、铃数和有效铃数[20]；另在收获期(9月20日左右)收取每个株系中下部20朵棉花，对籽棉进行称重，然后用小型扎花机将棉籽与皮棉分开，对皮棉称重，计算衣分(衣分=皮棉重量/籽棉重量)和单铃重。

1.3 数据处理

采用Excel对数据进行汇总与计算，用SPSS 19.0软件进行相关分析，数据处理时进行标准化处理消除遗传背景对抗旱性研究的影响。抗旱系数(Drought Resistance Coefficient, DC)和抗旱隶属函数值(Drought Resistance Subordinative Function Value, $\mu(x)$)根据如下公式(1)和公式(2)进行计算。

$$DC = X_i / CK_i, \quad i = 1, 2, 3\cdots, n \tag{1}$$

$$\mu(x) = (DC - DC_{min}) / (DC_{max} - DC_{min}) \tag{2}$$

式中：X_i、CK_i分别表示干旱胁迫和对照下各材料指标的测定值，DC_{min}、DC_{max}为各性状抗旱系数的最小值和最大值。

根据如下公式(3)、公式(4)和公式(5)分别计算因子权重系数(ω)、供试材料的抗旱性综合度量值(Drought Resistance Comprehensive Evaluation Values, D)和每个性状的广义遗传率H^2。

$$\omega = P_i \Big/ \sum_{i=1}^{n} P_i \tag{3}$$

$$D = \sum_{i=2}^{n} \left[\mu(X_i) \times \left(Pi \Big/ \sum_{i=1}^{n} P_i \right) \right], \quad i = 1, 2, 3\cdots, n \tag{4}$$

$$H^2 = \sigma^2 G \Big/ \left[\sigma^2 G + \left(\sigma^2 G \times E / ne \right) + \left(\sigma^2 E / nenr \right) \right] \tag{5}$$

式中：ω为因子权重系数，P_i为第i个综合指标的贡献率，$\sigma^2 G$为基因型方差，$\sigma^2 G \times E$为环境与基因互作方差，$\sigma^2 E$为环境方差，ne为基因型误差，$nenr$为环境与基因互作误差。

2 结果与分析

2.1 亲本及群体不同水分条件田间表型性状描述

亲本及群体田间表型性状基本情况表明(表1，表2)，在不同水分条件下，两年(2018年、2019年)中群体材料除了籽棉和单铃重(2018年，正常水平)之外，其余性状的最大值均大于亲本的最大值，最小值均小于亲本的最小值，显示出超亲分离现象。

对两个环境陆海杂交群体的农艺性状指标和产量指标测定值的平均值进行配对样本t检验差异显著性分析结果表明(表1，表2)，2018年所有性状指标均有显著或极显著的差异，其中株高、果枝数、有效果枝数、铃数和有效铃数在处理前后表现差异极显著水平，皮棉、衣分、单铃重和籽棉在处理前后表现差异显著水平；2019年各性状指标均有显著或极显著的差异，其中株高、果枝数和有效果枝数在处理前后表现差异极显著水平，铃数、有效铃数、单铃重、籽棉、皮棉和衣分在处理前后表现差异显著水平。表明本试验处理效果明显，具有较好代表性。

变异系数(Cv)是为反映各指标在不同参试棉花材料间存在的差异。棉花在遭受干旱胁迫后，与

chinaXiv:202103.00070v1

ChinaXiv合作期刊

表1　2018年亲本及群体在不同水分条件田间表型性状分析

Tab. 1　Analysis of field phenotype traits of parents and population under different water conditions in 2018

性状	处理	亲本		群体					
		中07	新海20	均值	标准差	min	max	*Cv*	*t*检验
株高(PH)	W	75.00	47.60	80.80	14.38	50.80	105.00	0.18	10.20**
	D	53.60	43.20	62.61	10.84	36.33	86.40	0.17	
果枝数(FBN)	W	7.00	6.20	8.97	1.56	5.80	13.60	0.17	8.11**
	D	7.00	4.40	6.78	1.47	3.80	10.40	0.22	
有效果枝数(EFBN)	W	3.60	5.20	7.06	2.17	2.80	11.40	0.31	7.51**
	D	1.60	3.20	4.71	1.64	0.40	8.20	0.35	
铃数(BN)	W	3.60	5.20	9.57	3.86	3.00	19.40	0.40	8.36**
	D	1.60	3.80	5.48	2.05	0.40	10.00	0.37	
有效铃数(EBN)	W	2.20	5.00	8.06	3.59	0.60	17.40	0.45	7.81**
	D	1.60	3.80	4.68	1.81	0.40	8.60	0.39	
籽棉(CSY)	W	123.37	55.14	50.45	28.10	6.37	119.97	0.56	−2.60*
	D	93.76	48.35	57.42	28.27	7.18	139.05	0.49	
皮棉(CLY)	W	42.27	15.00	16.49	10.98	1.88	45.86	0.67	−1.99*
	D	35.20	13.96	18.74	11.98	1.33	50.32	0.64	
衣分(LP)	W	0.34	0.27	0.31	0.06	0.20	0.51	0.21	0.002*
	D	0.38	0.29	0.31	0.07	0.13	0.53	0.23	
单铃重(SBW)	W	6.17	2.76	2.85	1.21	0.55	6.00	0.42	−0.83*
	D	4.69	2.42	2.95	1.34	0.98	6.95	0.46	

注:W表示正常灌水处理,D表示干旱胁迫处理。*表示$P<0.05$水平差异显著,**表示$P<0.01$水平差异极显著。

表2　2019年亲本及群体在不同水分条件田间表型性状描述

Tab. 2　Analysis of field phenotype traits of parents and population under different water conditions in 2019

性状	处理	亲本		群体					
		中07	新海20	均值	标准差	min	max	*Cv*	*t*检验
株高(PH)	W	85.17	86.67	90.98	16.13	12.00	152.00	0.13	13.25**
	D	75.67	73.00	77.16	13.23	7.00	124.00	0.13	
果枝数(FBN)	W	13.00	12.83	12.16	3.40	2.00	42.00	0.20	6.53**
	D	10.67	11.33	10.71	3.05	2.00	30.00	0.19	
有效果枝数(EFBN)	W	9.33	10.67	8.59	3.60	1.00	42.00	0.31	3.93**
	D	5.50	6.50	7.61	3.00	1.00	28.00	0.27	
铃数(BN)	W	13.50	12.67	10.17	5.15	1.00	40.00	0.41	0.19*
	D	5.33	8.50	10.20	5.59	1.00	40.00	0.38	
有效铃数(EBN)	W	12.33	12.00	9.54	4.58	1.00	35.00	0.36	0.95*
	D	5.17	8.17	9.22	5.10	1.00	40.00	0.37	
籽棉(CSY)	W	119.78	97.67	84.26	27.29	30.57	153.52	0.32	1.07*
	D	108.09	64.07	81.93	28.08	19.53	166.94	0.34	
皮棉(CLY)	W	45.25	28.88	29.05	12.39	6.06	57.61	0.43	1.37*
	D	40.42	15.05	27.83	13.00	5.03	66.30	0.47	
衣分(LP)	W	0.38	0.29	0.34	0.08	0.12	0.86	0.24	1.46*
	D	0.37	0.23	0.33	0.08	0.08	0.62	0.23	
单铃重(SBW)	W	5.99	4.88	4.21	1.36	1.53	7.68	0.32	0.90*
	D	5.40	3.20	4.11	1.40	0.98	8.35	0.34	

chinaXiv:202103.00070v1

ChinaXiv合作期刊

干旱相关的性状会发生一些变化。若某一性状的变异系数变化范围越大,则说明该性状受干旱胁迫越敏感。通过对变异系数的分析发现,2018年各性状的变异系数范围在0.17 ~ 0.67之间,其中变异系数变化范围最大的是籽棉,正常灌水条件下为0.56,水分胁迫条件下是0.49;其次是有效铃数,正常灌水条件下为0.45,水分胁迫条件条件下是0.39;在2019年中,各性状的变异系数范围在0.13 ~ 0.47之间,其中变异系数变化范围最大的是有效果枝数和皮棉,正常灌水条件下分别为0.31和0.43,水分胁迫条件下是0.27和0.47;其次是铃数,正常灌水条件下为0.41,水分胁迫条件条件下是0.38。

2.2 表型性状的方差和广义遗传力分析

通过对2018年和2019年各项指标的测定值进行方差分析,由*F*值(*F*-value)可知,在不同材料和不同水分处理的条件下,株高、果枝数、有效果枝数、铃数、有效铃数、籽棉、皮棉、衣分和单铃重受棉花材料和不同水分处理的影响均达到显著或者极显著的水平,说明这几个性状受不同株系和不同水分处理的影响效应比较大。

通过计算两年各项指标的广义遗传率(H^2),结果如表3所示:在2018年中,广义遗传率的范围在0.47 ~ 0.93之间,衣分的遗传率最大,果枝数的遗传率最小;2019年中,广义遗传率的范围在0.53 ~ 0.92之间,皮棉的遗传率最大,株高的遗传率最小。

2.3 表型性状的抗旱系数相关性分析

为了进一步分析干旱条件下各性状变化趋势,分别对2018年和2019年各性状抗旱系数(*DC*)进行相关分析(表4),2018年各性状之间呈极显著正相关的有:果枝数、有效果枝数、铃数和株高;有效果枝数、铃数、有效铃数与果枝数;铃数、有效铃数和有效果枝数;铃数和有效铃数;皮棉、衣分、单铃重和籽棉;衣分、单铃重和皮棉;衣分和单铃重。呈显著负相关的有:株高和籽棉;果枝数和籽棉;有效果枝数和籽棉;铃数和籽棉。2019年各性状之间呈极显著正相关的有:果枝数、有效果枝数、铃数和株高;有效果枝数、铃数、有效铃数和果枝数;铃数、有效铃数和有效果枝数;铃数和有效铃数;皮棉、衣分和籽棉;衣分和皮棉;衣分和单铃重。而有效铃数与株高呈显著正相关。

综合两年的相关性分析发现,株高、果枝数和有效果枝数,有效果枝数、铃数和有效铃数均显示

表3 各性状的方差及广义遗传力分析

Tab. 3 Analysis of variance and generalized heritability of each trait

性状		2018年		2019年	
		F-value	H^2	*F*-value	H^2
株高(PH)	材料	15.60**	0.54	7.77**	0.53
	处理	934.22**		513.33**	
果枝数(FBN)	材料	2.62**	0.47	3.02**	0.6
	处理	214.23**		87.50**	
有效果枝数(EFBN)	材料	4.33*	0.61	2.32**	0.62
	处理	192.30**		37.40**	
铃数(BN)	材料	4.36**	0.56	3.76**	0.79
	处理	236.86**		0.13*	
有效铃数(EBN)	材料	4.27**	0.63	3.39**	0.77
	处理	177.54**		1.41*	
籽棉(CSY)	材料	0.43**	0.84	6.40**	0.86
	处理	1.05*		1.10*	
皮棉(CLY)	材料	0.51**	0.55	6.60**	0.87
	处理	1.48*		1.50*	
衣分(LP)	材料	1.23**	0.7	12.34**	0.92
	处理	1.52*		2.74*	
单铃重(SBW)	材料	1.19**	0.93	4.70**	0.82
	处理	0.06*		1.99*	

chinaXiv:202103.00070v1

ChinaXiv合作期刊

表4 各性状抗旱系数(*DC*)相关性分析

Tab. 4 Correlation analysis of *DC* values of various traits

2018年 2019年	DC_{PH}	DC_{FBN}	DC_{EFBN}	DC_{BN}	DC_{EBN}	DC_{SBW}	DC_{CSY}	DC_{LCY}	DC_{LP}
DC_{PH}	1	0.48^{**}	0.36^{**}	0.35^{**}	0.21	-0.27^{*}	−0.19	−0.17	−0.10
DC_{FBN}	0.33^{**}	1	0.74^{**}	0.71^{**}	0.39^{**}	-0.30^{*}	−0.17	−0.13	−0.05
DC_{EFBN}	0.32^{**}	0.69^{**}	1	0.86^{**}	0.59^{**}	-0.23^{*}	−0.10	−0.08	−0.03
DC_{BN}	0.31^{**}	0.56^{**}	0.88^{**}	1	0.68^{**}	-0.24^{*}	−0.15	−0.14	−0.14
DC_{EBN}	0.27^{*}	0.39^{**}	0.77^{**}	0.90^{**}	1	0.00	0.07	0.09	0.04
DC_{SBW}	−0.04	−0.10	−0.11	−0.10	−0.05	1	0.72^{**}	0.67^{**}	0.37^{**}
DC_{CSY}	−0.03	−0.10	−0.11	−0.10	−0.05	0.10^{**}	1	0.94^{**}	0.55^{**}
DC_{LCY}	0.07	−0.10	−0.10	−0.10	−0.03	0.86^{**}	0.87^{**}	1	0.73^{**}
DC_{LP}	0.18	−0.11	−0.09	−0.10	−0.03	0.09	0.09	0.53^{**}	1

出极显著的正相关,表明这几个性状之间对干旱胁迫的反应存在稳定的极强的协同变化趋势。

2.4 主成分分析

对2018年和2019年各性状指标的抗旱系数*DC*值进行主成分分析,以此来进一步评价抗旱的重要指标。根据主成分载荷及其绝对值的大小分析(表5),2018年得到了两个成分,分别是铃数和皮棉,累计贡献率达到70.47%。2019年得到了三个成分(PC1、PC2和PC3),分别是有效果枝数、皮棉和衣分,累计贡献率达到82.16%。根据主成分分析,反映出不同株系在干旱胁迫状态下铃数、皮棉、有效果枝数和衣分变化较为明显。

2.5 抗旱性综合评价

综合抗旱性综合度量值(*D*值)是供试材料在干旱胁迫条件下用综合指标评价所得的抗旱性综合评价。通过主成分分析对各性状指标抗旱系数*DC*值进一步分析,获得特征值向量、因子载荷和贡献率,根据贡献率计算权重,并结合隶属函数值计算出*D*值。根据*D*值的大小对供试棉花株系抗旱性强弱进行排序,*D*值越大,抗旱性越强;相反,*D*值越小,其抗旱性也就越弱。

分别计算2018年和2019年各棉花株系的*D*值,并根据2018年和2019年的*D*值计算参试株系的总*D*值,依据各株系的总*D*值进行抗旱性评价(表6)。群体总*D*值的范围在0.19 ~ 0.68之间,均值为0.41。根据总*D*值对群体棉花进行排序,发现总*D*值最大的5份材料分别是:HL-23、HL-42、HL-48、HL-44和HL-13;总*D*值最小的5份材料分别是:

表5 载荷矩阵和贡献率主成分分析

Tab. 5 Principal component analysis of load matrix and contribution rate

性状	因子载荷				
	2018年		2019年		
	PC1	PC2	PC1	PC2	PC3
株高(PH)	0.54	0.16	0.37	0.30	0.54
果枝数(FBN)	0.73	0.43	0.68	0.28	−0.02
有效果枝数(EFBN)	0.73	0.56	0.86	0.40	−0.070
铃数(BN)	0.77	0.51	0.85	0.41	−0.10
有效铃数(EBN)	0.46	0.60	0.75	0.43	−0.07
单铃重(SBW)	−0.67	0.45	−0.52	0.80	−0.28
籽棉(CYS)	−0.65	0.68	−0.52	0.80	−0.27
皮棉(LCY)	−0.65	0.72	−0.51	0.83	0.16
衣分(LP)	−0.48	0.58	−0.23	0.30	0.84
特征值(*Cv*)	3.67	2.67	3.47	2.74	1.20
贡献率CR/%	40.77	29.70	38.51	30.43	13.21
累计贡献率CCR/%	40.77	70.47	38.51	68.94	82.16
因子权重(FW)	0.58	0.42	0.47	0.37	0.16

chinaXiv:202103.00070v1

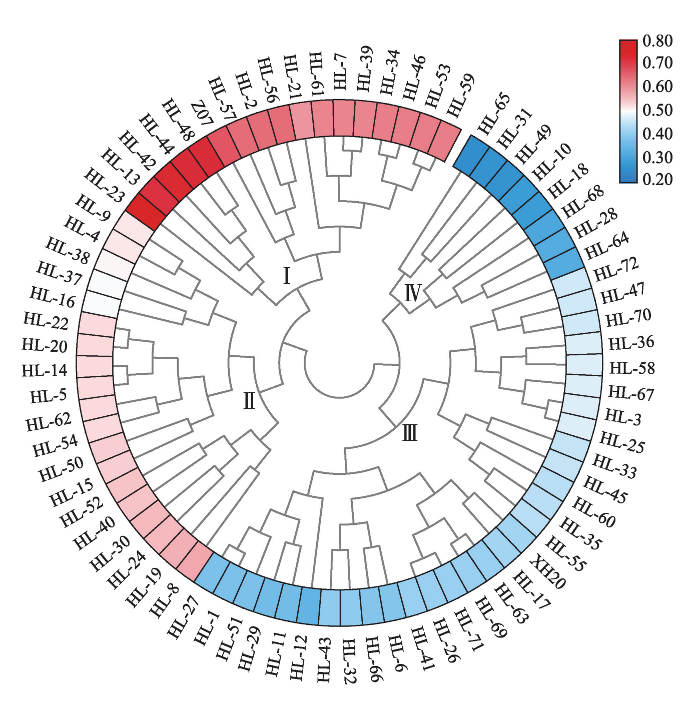
ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202103.00070v1

表6 棉花品种抗旱性*D*值评价

Tab. 6 Evaluation of *D* value of drought resistance of cotton varieties

材料	总*D*值	排名	材料	总*D*值	排名	材料	总*D*值	排名
中07	0.59	6	HL-24	0.47	21	HL-49	0.20	73
新海20	0.34	50	HL-25	0.39	37	HL-50	0.45	25
HL-1	0.30	62	HL-26	0.33	52	HL-51	0.30	63
HL-2	0.56	8	HL-27	0.30	61	HL-52	0.46	22
HL-3	0.39	41	HL-28	0.25	67	HL-53	0.54	11
HL-4	0.43	32	HL-29	0.29	65	HL-54	0.44	31
HL-5	0.44	29	HL-30	0.47	20	HL-55	0.36	49
HL-6	0.31	60	HL-31	0.20	72	HL-56	0.56	7
HL-7	0.53	16	HL-32	0.32	58	HL-57	0.56	9
HL-8	0.49	18	HL-33	0.37	45	HL-58	0.39	38
HL-9	0.43	33	HL-34	0.54	10	HL-59	0.54	13
HL-10	0.22	71	HL-35	0.36	47	HL-60	0.36	48
HL-11	0.29	64	HL-36	0.39	39	HL-61	0.53	14
HL-12	0.27	66	HL-37	0.41	35	HL-62	0.44	28
HL-13	0.64	5	HL-38	0.42	34	HL-63	0.33	53
HL-14	0.44	26	HL-39	0.53	15	HL-64	0.25	68
HL-15	0.45	24	HL-40	0.46	23	HL-65	0.19	74
HL-16	0.41	36	HL-41	0.33	54	HL-66	0.31	59
HL-17	0.34	51	HL-42	0.66	2	HL-67	0.39	40
HL-18	0.22	70	HL-43	0.32	57	HL-68	0.24	69
HL-19	0.48	19	HL-44	0.65	4	HL-69	0.33	55
HL-20	0.44	27	HL-45	0.37	46	HL-70	0.38	43
HL-21	0.51	17	HL-46	0.54	12	HL-71	0.33	56
HL-22	0.44	30	HL-47	0.38	44	HL-72	0.38	42
HL-23	0.68	1	HL-48	0.65	3			



注：Z07表示中07，XH20表示新海20

图1 基于*D*值的抗旱性系统聚类图

Fig. 1 Drought-resistant system clustering map based on *D* value

HL-18、HL-10、HL-31、HL-49和HL-65。其中亲本中07的总*D*值是0.59，新海20的总*D*值是0.34。

2.6 聚类分析和抗旱性等级划分

通过对各个株系的综合抗旱性综合度量值(*D*值)进行系统聚类，最终划分为4个类群(图1)，第Ⅰ类群为抗旱型，是HL-44、HL-48、HL-13等16份棉花株系；第Ⅱ类群为中抗旱型，是HL-21、HL-8、HL-19等19份棉花株系；第Ⅲ类群为干旱敏感型，是HL-11、HL-12、HL-3等29份棉花株系；第Ⅳ类群为干旱极敏感型，是HL-10、HL-18、HL-31等8份棉花株系；亲本中07属于第Ⅰ抗旱型类群，新海20属于第Ⅲ干旱敏感类群。

3 讨 论

干旱胁迫是植物体在生长发育过程中受到的最常见的环境胁迫之一[21]。作物的抗旱性是由多基因控制的复杂的数量性状。Kleinhofs等[22]研究表明，农作物中抗旱性较强的植株与抗旱性较弱的植

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202103.00070v1

株在干旱条件下性状有极大的不同。棉花的生长周期分为苗期、蕾期、花铃期和吐絮成熟期等阶段,在不同生育时期棉花对水分的需求量不同,因此产生抵抗干旱胁迫的内在机制也有所不同。雷成霞等人研究表明,花铃期是棉花水分需求的关键时期,若在此阶段干旱缺水,会对棉花产量和品质产生极大的影响,会造成棉花严重的减产和纤维品质的降低[23]。俞希根等研究发现,当棉花在各生育阶段受到干旱胁迫,对生长、发育和产量都有一定影响,但受旱阶段不同,受到的影响程度也不同,而干旱程度不同,棉花所受影响也不同[24]。

随着众多学者对作物抗旱问题的研究,针对不同的作物提出了不同的抗旱研究评价方案,目前来说,普遍认为综合抗旱性评价体系较为可靠[25-26]。徐银萍等人通过对50份大麦种质资源成株期抗旱性鉴定及抗旱指标筛选,结果表明基于*D*值的供试种质资源抗旱系统聚类分析结果与各种质资源田间实际抗旱性表现更为接近,且产量与*D*值相关最密切[27]。刘光辉等人通过对90份陆地棉在花铃期控水处理下抗旱指标的筛选,发现*D*值遗传率最高,是最适合的综合抗旱评价指标[28]。赵福相等人采用*D*值对203份海岛棉资源进行抗旱性鉴定,筛选出了强抗旱型海岛棉材料,并筛选出单株产量、单铃重和株高可以作为海岛棉抗旱性评价指标[11]。通过前人对抗旱性的研究表明:以*D*值为评价指标的评价方法,既考虑了各个指标的重要性,又考虑了各个指标之间的相互关系,评价结果客观可靠。通过聚类分析将各个材料聚为不同的类别,以此来代表作物的抗旱等级,在其他作物中均有应用。

陆地棉和海岛棉是两大主要栽培品种,陆地棉拥有优良的产量性状和广泛的适应性,而海岛棉拥有优良的纤维品质。目前对棉花的抗旱性的研究,大多数集中在陆地棉方面[28-29],海岛棉方面报道的较少[11]。刘鹏鹏等人通过37份棉花资源材料来鉴定棉花的抗旱性,结果显示中07为中抗型、新海20为抗旱性较弱的品种[29-30],这与本试验中鉴定出的亲本中07为抗旱型、新海20为干旱敏感的结果相一致。

本研究借鉴刘光辉[28]、孙丰磊[29]和赵福相[11]等对陆地棉和海岛棉花铃期抗旱性鉴定的方案,选用抗旱性差异较大的陆地棉材料中07和海岛棉材料新海20为亲本的$F_{2:6}$重组自交系群体,通过2018年和2019年在沙湾对群体的花铃期进行抗旱性鉴定,并选择*D*值的评价方法对陆海重组自交群体进行抗旱性评价。通过对群体分析发现,群体株系在2018年和2019年试验中,均表现出超亲分离现象,用*D*值进行聚类分析发现群体中大多数株系对干旱的抵抗能力在两亲本抗性之间(0.34~0.59),同时发现群体中有比亲本中07抗旱性更强的5个株系,主要是划分在抗旱型等级;群体中还有比亲本新海20抗旱性更敏感的8个株系,主要是划分在干旱极敏感型等级。本研究选择用2018年和2019年的综合*D*值进行聚类分析,可以避免一年的实验数据对抗旱性评价结果造成影响,且两年的实验结果更能准确对陆海重组自交群体进行抗旱性评价。

4 结 论

本研究采用田间花铃期干旱胁迫的方法,通过测定农艺性状和产量性状,以方差分析、遗传力分析、主成分分析等分析方法并结合*D*值对亲本为中07和新海20的陆海重组自交系群体进行抗旱性鉴定。用*D*值进行抗旱性评价。并利用系统聚类分析方法根据*D*值将棉花材料划为4个类群,第Ⅰ类群为抗旱型,有16个棉花株系;第Ⅱ类群为中抗旱型,有19个棉花株系;第Ⅲ类群为干旱敏感型,有29个棉花株系;第Ⅳ类群为干旱极敏感型,有8个棉花株系;并鉴定出亲本中07属于抗旱型、新海20属于抗旱敏感材料;同时通过对杂交群体的抗旱鉴定,发现群体材料中有5份比亲本中07抗旱性更强(抗旱型)、有8份比亲本新海20抗旱性更敏感(干旱极敏感型),说明该陆海重组自交系群体不仅有亲本陆地棉和海岛棉的遗传特性,还有超越亲本的遗传特性。为今后研究海陆重组自交系群体的抗旱性提供了基础。

参考文献(References):

[1] 李忠旺,陈玉梁,罗俊杰,等.棉花抗旱品种筛选鉴定及抗旱性综合评价方法[J].干旱地区农业研究,2017,35(1):240-247. [Li Zhongwang, Chen Yuliang, Luo Junjie, et al. Screening and evaluation for drought resistance of cotton varieties[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2017, 35(1): 240-247.]

[2] Appiah M K, Feike T, Wiredu A N, et al. Cotton production, land use change and resource competition in the Aksu-Tarim River Basin, Xinjiang, China[J]. Quarterly Journal of International Agriculture, 2014, 53(3): 243-261.

[3] 倪志勇.棉花种质资源的抗旱性评价及蛋白质组学研究[C]//中国作物学会. 2019年中国作物学会学术年会论文摘要集.

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202103.00070v1

2019: 53. [Ni Zhiyong. Drought Resistance Evaluation and Proteomics of Cotton Germplasm Resources[C]//Chinese Crop Society. Proceedings of the 2019 China Crop Society Academic Conference. 2019: 53.]

[4] Cairns J E, Impa S M, Toole J C O, et al. Influence of the soil physical environment on rice (*Oryza sativa* L.) response to drought stress and its implications for drought research[J]. Field Crops Research, 2011, 121(3): 303−310.

[5] Feng F, Xu X, Du X, et al. Assessment of drought resistance among wild rice accessions using a protocol based on single−tiller propagation and PVC− tube cultivation[J]. Australian Journal of Crop Science, 2012, 6(7): 1204−1211.

[6] 蔡红涛, 汤一, 刁品春, 等. 棉花花铃期土壤持续干旱胁迫对产量形成的调节效应[J]. 棉花学报, 2008, 20(4): 300−305. [Cai Hongtao, Tang Yi, Diao Pinchun, et al. Regulating effect of soil progressive drought on yield of cotton during blooming and bolling periods[J]. Cotton Science, 2008, 20(4): 300−305.]

[7] 刘瑞显. 花铃期干旱条件下氮素影响棉花(*Gossypium hirsutum* L.)产量与品质形成的生理生态基础研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2008. [Liu Ruixian. Effects of Nitrogrn on Yield and Fired Quality Formation and its Physio−ecological Basis for Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) under Water Stress During Flowering and Boll−forming Sgtage[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2008.]

[8] 杨长琴, 刘瑞显, 张国伟, 等. 花铃期干旱对棉纤维素累积及纤维比强度的影响[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(6): 1218−1223. [Yang Changqin, Liu Ruixian, Zhang Guowei, et al. Cellulose accumulation and fiber strength affected by drought during flowering and bolling stage in cotton[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2015, 31(6): 1218−1223.]

[9] 庄振刚, 叶春秀, 李有忠. 新疆陆地棉早熟品种花铃期抗旱性初步评价[J]. 中国棉花, 2014, 41(7): 5−7. [Zhuang Zhengang, Ye Chunxiu, Li Youzhong. Primary evaluation on drought resistance in flowering stage of earliness cultivars in upland cotton in Xinjiang[J]. China Cotton, 2014, 41(7): 5−7.]

[10] 王俊娟. 干旱胁迫条件下陆地棉农艺及经济性状的变化[C]//中国棉花学会. 中国棉花学会2012年年会暨第八次代表大会论文汇编. 2012: 135. [Wang Junjuan. Changes of Agronomic and Economic Traits of Upland Cotton under Drought Stress[C]//China Cotton Association. Compilation of papers of the 2012 Annual Conference and Eighth Congress of China Cotton Association. 2012: 135.]

[11] 赵福相, 刘康永, 曲延英, 等. 海岛棉种质资源抗旱性评价[J]. 新疆农业科学, 2019, 56(7): 1187−1195. [Zhao Fuxiang, Liu Kangyong, Qu Yanying, et al. Evaluation of drought resistance of island cotton (*Gossypium barbadense* L.) germplasm resources[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2019, 56(7): 1187−1195.]

[12] 李腾宇. 转录组比较分析陆海杂交棉纤维品质杂种优势的分子机理[C]//中国作物学会. 2019年中国作物学会学术年会论文摘要集. 2019: 151. [Li Tengyu. Transcriptome Comparative Analysis of the Molecular Mechanism of Heterosis in Fiber Quality of Upland- sea Hybrid Cotton[C]// Chinese Crop Society. Proceedings of the 2019 China Crop Society Academic Conference. 2019: 151.]

[13] 石玉真. 陆海棉花杂交F_1代及其回交后代主要经济性状的遗传变异分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2009. [Shi Yuzhen. Analysis of Genetic Variation of Main Economic Traits of Interspecific Hybrid between *Gossypium hirsutum* L. and *G. barbadense* L. and its Backcross Populations[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2009.]

[14] 菲力申. 陆地棉与海岛棉杂种优势利用研究[D]. 南宁: 广西大学, 2008. [Fei Lishen. Studies on Heterosis Utilisation between Upland Cotton and Island Cotton[D]. Nanning: Guangxi University, 2008.]

[15] 石玉真, 刘爱英, 李俊文, 等. 陆海种间杂交铃重和衣分的遗传及其F_1群体优势分析[J]. 中国农学通报, 2008, 25(2): 139−143. [Shi Yuzhen, Liu Aiying, Li Junwen, et al. Heterosis and genetic analysis of boll weight and Lint percentage of interspecific hybrid of *G. hirsutum* L. ×*G. barbadense* L. [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 25(2): 139−143.]

[16] 石玉真, 刘爱英, 李俊文, 等. 陆海种间杂交纤维品质性状的遗传及其F_1群体优势分析[J]. 棉花学报, 2008, 35(1): 56−61. [Shi Yuzhen, Liu Aiying, Li Junwen, et al. Heterosis and genetic analysis of fiber quality traits of interspecific hybrid of *G. hirsutum* L. × *G. barbadense* L. [J]. Cotton Science, 2008, 35(1): 56−61.]

[17] 张香桂, 周宝良, 陈松, 等. 陆地棉与海岛棉种间杂种优势研究[J]. 江西棉花, 2003(5): 25−30. [Zhang Xianggui, Zhou Baoliang, Chen Song, et al. Study on heterosis of upland cotton and island cotton[J]. Jiangxi Cottons, 2003(5): 25−30.]

[18] 王贺正, 李艳, 马均, 等. 水稻苗期抗旱性指标的筛选[J]. 作物学报, 2007, 33(9): 1523−1529. [Wang Hezheng, Li Yan, Ma Jun, et al. Screening indexes of drought resistance during seedling stage in rice[J]. Acta Agronomica Sinica, 2007, 33(9): 1523−1529.]

[19] 张木清, 陈如凯. 作物抗旱分子生理与遗传改良[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 22−23. [Zhang Muqing, Chen Rukai. Molecular Physiology and Genetic Improvement of Drought Resistance in Crops[M]. Beijing: Science Press, 2005: 22−23.]

[20] 杜雄明, 周忠丽. 棉花种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005. [Du Xiongming, Zhou Zhongli. Descriptors and Data Standard for Cotton(*Gossypium herbaceum*)[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005.]

[21] 夏振华, 陈亚宁, 朱成刚, 等. 干旱胁迫环境下的胡杨叶片气孔变化[J]. 干旱区研究, 2018, 35(5): 1111−1117. [Xia Zhenhua, Chen Yaning, Zhu Chenggang, et al. Stomatal change in leaves of *Population euphratica* under drought stress[J]. Arid Zone Research, 2018, 35(5): 1111−1117.]

[22] Kleinhofs A, Kilian A, Maroof M S, et al. A molecular, isozyme and morphological map of the barley (*Hordeum vulgare*) genome [J]. Theoretical and Applied Genetics, 1993, 86(6): 705−712.

[23] 雷成霞, 王振华, 魏闯, 等. 新疆地下滴灌无膜移栽棉花干物质积累与需水量关系[J]. 灌溉排水学报, 2012, 31(6): 94−97, 102. [Lei Chengxia, Wang Zhenhua, Wei Chuang, et al. Relationship between dry matter accumulation and water requirement in cotton transplantation without film under subsurface drip irrigation in Xinjiang[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2012, 31(6): 94−97, 102.]

[24] 俞希根, 孙景生, 肖俊夫, 等. 棉花适宜土壤水分下限和干旱指标研究[J]. 棉花学报, 1999, 26(1): 35−38. [Yu Xigen, Sun Jingsheng, Xiao Junfu, et al. A study on drought indices and lower limit of suitable soil moisture of cotton[J]. Acta Gossypii Sinica, 1999, 26(1): 35−38.]

ChinaXiv合作期刊

[25] Blum A, Jordan W R. Breeding crop varieties for stress environments[J]. Critical Reviews in Plant Sciences, 1985, 2(3): 199-238.

[26] 黎裕, 王天宇, 刘成, 等. 玉米抗旱品种的筛选指标研究[J]. 植物遗传资源学报, 2004, 5(3): 210-215. [Li Yu, Wang Tianyu, Liu Cheng, et al. Analysis on criteria for screening drought tolerant maize hybrids[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2004, 5(3): 210-215.]

[27] 徐银萍, 潘永东, 刘强德, 等. 大麦种质资源成株期抗旱性鉴定及抗旱指标筛选[J]. 作物学报, 2020, 46(3): 448-461. [Xu Yinping, Pan Yongdong, Liu Qiangde, et al. Drought resistance identification and drought resistance indexes screening of barley resources at mature period[J]. Acta Agronomica Sinica, 2020, 46(3): 448-461.]

[28] 刘光辉, 陈全家, 吴鹏昊, 等. 棉花花铃期抗旱性综合评价及指标筛选[J]. 植物遗传资源学报, 2016, 17(1): 53-62, 69. [Liu Guanghui, Chen Quanjia, Wu Penghao, et al. Screening and comprehensive evaluation of drought resistance indices of cotton at blossing and boll-forming stages[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2016, 17(1): 53-62, 69.]

[29] 孙丰磊, 曲延英, 陈全家, 等. 棉花抗旱相关指标综合评价及灰色关联分析[J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37(1): 233-239. [Sun Fenglei, Qu Yanying, Chen Quanjia, et al. Comprehensive evaluation of cotton drought tolerance indexes and gray relational analysis[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2019, 37(1): 233-239.]

[30] 刘鹏鹏, 陈全家, 曲延英, 等. 棉花种质资源抗旱性评价[J]. 新疆农业科学, 2014, 51(11): 1961-1969. [Liu Pengpeng, Chen Quanjia, Qu Yanying, et al. The drought resistance evaluation of cotton germplasm resources[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2014, 51(11): 1961-1969.]

chinaXiv:202103.00070v1

Identification and evaluation of drought resistance of upland-island recombination inbred line population at blossoming and boll-forming stages

JIANG Meng-hui, SUN Feng-lei, YANG yang, WANG Yan-yan, QU Yan-ying, CHEN Quan-jia

(*College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Engineering Research Centre of Cotton of Ministry of Education, Urumqi* 830052, *Xinjiang, China*)

Abstract: The $F_{2:6}$ upland-island recombination inbred line population of upland cotton material (Zhong 07) and island cotton material (Xinhai 20) was used as the experimental subjects. In July 2018 and 2019, the method of field drought stress was adopted in 144 regiments of Shihezi. During the blossoming and boll-forming stages, drought stress treatment was carried out on the upland-island recombination inbred line population. Through the measurement of agronomic and yield-related characters, variance analysis, principal component analysis, and cluster analysis were used to identify and evaluate the drought resistance of upland-island recombination inbred line population. Based on the principal component analysis, it can be seen that the boll number, cotton lint yield, effective fruit branch number, and lint percentage of the upland-island recombination inbred line population changed significantly under drought stress. According to the clustering results of the drought resistance measurement (*D* value), the upland-island recombination inbred line population was divided into four groups. The first (I) group was drought-resistant, including 16 strains, such as HL-44, HL-48, and HL-13. The second (II) group was medium drought-resistant, with 19 strains, such as HL-21, HL-8, and HL-19. The third (III) group was drought-sensitive, which is 29 strains, such as HL-11, HL-12, and HL-3. The fourth (IV) group was extremely drought-sensitive, which has eight strains, such as HL-10, HL-18, and HL-31. In addition, it was identified that Zhong 07 was drought-resistant while Xinhai 20 was drought-sensitive. There were also five strains in group I that have better drought resistance than Zhong 07, and there were eight strains in group IV that are more drought-sensitive than Xinhai 20. The results indicated that the upland-island recombination inbred line population had better genetic characteristics of drought resistance than their parent lines. This study provides a basis for studying the drought resistance of upland-island recombination inbred line population in the future.

Keywords: cotton; upland-island RIL population; blossom and boll stages; drought stress; drought resistance evaluation